# Ueber die Bedeutung des Saponins für die systematische Gliederung der Zygophyllaceen-Gattungen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der Philosophischen Fakultät der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

Von

HANS-JOACHIM ZUMBRUCH

Tag der mündlichen Prüfung: 9. Juli 1931
Tag der Promotion: 7. Dezember 1931

Druck: Doktordruck — Graphisches Institut Paul Funk,
Berlin SW 68, Friedrichstr. 231

95

Referenten: Prof. Dr. E. Gilg
Prof. Dr. L. Diels

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern
aus Dankbarkeit gewidmet.

# Inhaltsverzeichnis.

Seite

A. Einleitung . . . . . 5

B. Hauptteil

I. Methodischer Teil . . . . . 7

II. Systematischer Teil . . . . . 13

a) Tabellarische Uebersicht der untersuchten Arten mit Angabe ihrer Reaktionen

b) Auswertung der Ergebnisse unter Berücksichtigung der systematischen Gliederung der Zygophyllaceengattungen

C. Zusammenfassung . . . . . 33

D. Literaturverzeichnis . . . . . 34

# Einleitung.

Es ist längst bekannt, daß neben der Morphologie und Anatomie auch die Phytochemie zu einem wertvollen Hilfsmittel für das Erkennen von verwandtschaftlichen Beziehungen bei den Pflanzen geworden ist. Denn zahlreiche Forscher, die sich mit dieser verhältnismäßig jungen Disziplin beschäftigten, haben auf Grund makro- und mikrochemischer Untersuchungsmethoden zur Genüge feststellen können, daß die Verwandtschaft der Pflanzen sich auch in ihren Inhaltsstoffen auszudrücken vermag. So führen viele Cruciferen und ihre nächsten Verwandten, die Resedaceen und Capparidaceen in bestimmten Zellen das Ferment Myrosin, welches das in den Zellen vorhandene Glucosid Sinigrin in Senföl, Kaliumbisulfat und Zucker zu spalten vermag. Die zwischen diesen erwähnten Familien bestehende Verwandtschaft, die man in der Systematik hauptsächlich auf Grund morphologischer Eigenschaften festgestellt hatte, erhält also durch das Vorkommen dieser Myrosinzellen eine neue Stütze. Das Inulin tritt bei den Campanulaceen und Compositen als Reservestoff auf und bestätigt ihre Verwandtschaft. Die Speicherung von Stärke in den Samen gewisser Monokotylenfamilien hat Engler dazu veranlaßt, diese Familien zu einer Reihe der Farinosae zusammenzufassen. Bei den niederen Pflanzen tritt uns die Bedeutung chemischer Merkmale für die Beurteilung der Verwandtschaft noch mehr hervor. Hier seien die Farbstoffe der Purpurbakterien und der Cyanophyceen erwähnt und die Flechtensäuren, die Zopf (1) zur Klärung der verwandtschaftlichen Beziehungen bei den Flechten mit Erfolg verwendet hat.

Den erwähnten Fällen, in denen die chemische Verwandtschaft zusammengehöriger Pflanzen geradezu in die Augen springt, können wir aber auch solche entgegen halten, wo Pflanzen oder Pflanzenfamilien, die wegen ihrer morphologischen und anatomischen Eigenschaften weit voneinander getrennt im System ihren Platz erhalten haben, dennoch die gleichen chemischen Körper aufweisen. Ein Beispiel hierfür bieten die Familien der Liliaceen, Polygonaceen, Rhamnaceen und Leguminosen. Bei diesen gar nicht näher verwandten Familien kommen die gleichen zu den Anthrachinonderivaten gehörenden Stoffe vor, die sogenannten Emodine. Doch hat sich an Arbeiten, deren Aufgabe darin bestand, das Vorkommen und Fehlen von Emodin innerhalb nur einer einzigen Familie oder nur einer einzigen Gattung zu prüfen und mit deren systematischen Gliederung zu vergleichen, unschwer zeigen lassen, in welch hohem Maße derartige

phytochemische Ergebnisse die innere Zusammengehörigkeit der einzelnen Gattungen und Sektionen nicht nur bestätigen konnten, sondern auch für die Klärung zweifelhafter oder gar umstrittener Fälle wertvolle Hinweise zu geben vermochten (2).

Außer den Emodinen kennt man aber noch eine Menge anderer Stoffe, die häufig ganzen Familien eigen sind, wie die Alkaloide, Gerbstoffe, Bitterstoffe und Saponine. Ueber die ungemein weite Verbreitung der Saponine legt die Koflersche Zusammenstellung (3) saponinhaltiger Pflanzen ein beredtes Zeugnis ab. In diesem Verzeichnis werden nicht weniger als 75 über das ganze System zerstreut liegende Familien aufgezählt, bei denen man saponinführende Arten angetroffen hat. Damit büßen notwendigerweise so wahllos verbreitete Körper wie die Saponine ihre Bedeutung als chemische Kennzeichen der Verwandtschaft zwischen ganzen Familien mehr oder weniger ein. Daß sie sich dennoch für die feinere Gattungsanalyse als wichtig herausstellen können, hat G. Schneider in seiner kürzlich erschienenen Arbeit (4) in überzeugender Weise dargelegt. Doch sei hier noch besonders hervorgehoben, daß die Phytochemie allein keine Entscheidung über systematische Fragen treffen kann, sondern daß dabei auch die Morphologie und Anatomie eine wichtige Rolle spielen.

Auf Veranlassung von Herrn Professor Dr. E. Gilg unternahm ich es daher, das Vorkommen und Fehlen von Saponin bei den Gattungen der Zygophyllaceen festzustellen und zu prüfen, in wieweit diese Ergebnisse mit deren systematischen Gliederung übereinstimmten.

Es sei mir an dieser Stelle gestattet, Herrn Professor Dr. Gilg, der mir bei allen meinen botanischen Studien, ganz besonders aber bei dieser Arbeit, mit Rat und Tat zur Seite gestanden hat, meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen. Desgleichen danke ich Herrn Professor Dr. Diels für die gütige Ueberlassung des für die Untersuchungen notwendigen Herbarmaterials aus dem Botanischen Museum und auch dafür, daß ich diese Arbeit in den Räumen des Botanischen Museums ausführen durfte. Ferner ist es mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. Schürhoff für manche Belehrung meinen ergebensten Dank auszusprechen.

# Methodischer Teil.

**Die Saponine und ihr Nachweis in der Pflanze.**

Die Saponine stellen eine Gruppe von Pflanzenstoffen dar, die durch eine Anzahl physiologischer und chemischer Merkmale gut charakterisiert sind. Zu den Eigenschaften, die schon sehr lange bekannt sind, gehören das Schaumvermögen der Saponine und (ihrer Oberflächenaktivität zufolge) die Fähigkeit, Gegenstände für Wasser benetzbar zu machen, die für gewöhnlich nicht von Wasser benetzt werden, z. B. Haut, Haare, Federn, Gewebe. Daraus erklärt sich auch die Tatsache, daß saponinhaltige Pflanzen seit den ältesten Zeiten mit Erfolg als Waschmittel verwendet wurden. Schüttelt man also einen saponinhaltigen Pflanzenauszug oder eine wässerige Lösung von Saponin, so bildet sich, sogar noch in verdünnten Lösungen, ein reichlicher, lange haltbarer Schaum. Die Schaumkraft der Saponine, die auf einer Erniedrigung der Oberflächenspannung und Häutchenbildung beruht, hat man außer zum qualitativen auch zum quantitativen Nachweis dieser Stoffe in Drogen herangezogen. Doch hat man bald gefunden, daß die Bestimmung des Saponingehaltes einer Droge mit Hilfe der Schaumzahl sehr ungenau ausfallen muß, da auch noch andere Inhaltsstoffe der Droge die Schaumkraft der Saponine beeinflussen können (5). Man hat die Saponine, die wegen ihrer schäumenden und reinigenden Eigenschaften große Aehnlichkeit mit unseren Seifen besitzen, vielfach „Pflanzenseifen" genannt, häufig auch „Kratzstoffe", weil sie beim Einnehmen ein Kratzen hervorrufen. In der Literatur findet sich der Name Saponin zum ersten Male bei Gmelin im Jahre 1819 erwähnt. Eine Eigenschaft der Saponine, die ebenfalls schon sehr lange bei vielen Völkern der alten und neuen Welt unabhängig von einander eine praktische Verwendung beim Fischfang gefunden hatte, ist ihre tödliche Wirkung auf Fische. Es gehen daher Fische, die man in verdünnte Saponinlösungen einsetzt, bald zugrunde. Schon in kleinen Dosen in die Blutbahn injiziert, wirken die Saponine tödlich. Ferner sind sie imstande, noch in großen Verdünnungen rote Blutkörperchen aufzulösen. Diese hämolytische Wirkung, die durch Zugabe von Cholesterin wieder aufgehoben wird, hat bei den Saponinen eine diagnostische Verwertung gefunden und soll daher noch bei der Besprechung des Saponinnachweises mittels Blutgelatine eingehend behandelt werden.

Die Mehrzahl der isolierten Saponine stellt amorphe Pulver dar von weißer, vielfach gelber oder brauner Farbe und besitzt starke hygroskopische Eigenschaften. Nur wenige Saponine hat man kristal-

lisiert erhalten, z. B. das Digitonin aus den Samen von Digitalis purpurea (6), die Primulasäure aus Primulaceen (7), das Cyclamin aus den Knollen von Cyclamen europaeum (8).

Ihrem chemischen Charakter nach gehören die Saponine zur Gruppe der Glykoside; denn bei der hydrolytischen Spaltung werden sie in Hexosen und Pentosen und in einen zuckerfreien Spaltling, das Sapogenin, zerlegt. Bewirkt man die hydrolytische Spaltung durch Erhitzen wässriger Saponinlösungen mit verdünnten Säuren, so erfolgt die Abspaltung der Zuckerkomponenten häufig stufenweise. Kobert (9) unterscheidet daher zwischen Anfangs- oder Prosapogeninen, die noch nicht ganz zuckerfrei sind, und Endsapogeninen, die völlig zuckerfrei sind. Vielfach gelingt die Darstellung von zuckerfreien Sapogeninen überhaupt erst durch mehrstündiges Erhitzen im Autoklaven bei 140° C oder im Bombenrohr. Außerdem kann man auch eine hydrolytische Spaltung der Saponine durch Enzyme (10) erreichen.

Die meisten Saponine setzen sich aus folgenden Elementen zusammen: Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Der Kohlenstoffgehalt schwankt zwischen 50 und 63%, der Wasserstoffgehalt zwischen 6 und 9%. Durch den Gehalt an Stickstoff zeichnen sich das Solanin und das Alfalfasaponin aus (11), doch ist deren Zugehörigkeit zu den Saponinen noch strittig, zumal sie auch in ihren Spaltungsprodukten und physiologischen Eigenschaften ein abweichendes Verhalten bekunden.

Die Ermittelung der Saponinformeln ist noch nicht einwandfrei gelungen, und alle bis jetzt in die Literatur eingegangenen Formeln sind daher mehr oder weniger mit Fehlern behaftet. Das gilt auch von den von Sieburg (12) zu einer Tabelle vereinigten sogen. Reihenformeln von Flückiger (13) und von Kobert (14). Schuld an dieser Ungenauigkeit ist die Schwierigkeit, die in der Entfernung der vorhandenen Kohlenhydrate besteht, und der Mangel eines Kriteriums für die Reinheit und Eindeutigkeit des Materials, das bei der Elementaranalyse zur Verwendung gelangt.

Hinsichtlich der Löslichkeit in Wasser lassen sich zwei Gruppen von Saponinen unterscheiden, und zwar neutrale und saure Saponine. Die neutralen Saponine sind in Wasser leicht löslich, die sauren lösen sich dagegen nur in verdünnten Alkalien.

Zum chemischen Nachweis der Saponine, insbesondere zum mikrochemischen in der Pflanze, sind im Laufe der Zeit eine große Anzahl von Reaktionen bekannt geworden. Es seien hier nur die wichtigsten kurz erwähnt.

Legt man nach Rosoll (15) trockene Pflanzenschnitte in konzentrierte Schwefelsäure, so tritt bei Anwesenheit von Saponin zuerst eine gelbe, dann eine rote und schließlich eine violette Färbung auf. Doch wird diese Farbreaktion häufig durch die Raspailsche Eiweißreaktion verdeckt, die ähnliche Färbungen gibt und daher täuschen

kann. Eindeutiger hinsichtlich der Reaktion, aber weniger empfindlich, ist das Lafonsche Reagens, demzusolge man die Schnitte mit einem Gemisch von Alkohol und Schwefelsäure zu gleichen Teilen behandelt. Es entsteht häufig schon in der Kälte, meistens aber erst nach gelindem Erwärmen eine Färbung, die über gelb und rot nach violett umschlägt. Setzt man nun noch nach Hanausek (16) einen Tropfen verdünnte Eisenchloridlösung hinzu, so entsteht ein bräunlicher oder bläulichbrauner Niederschlag. Aehnliches gilt von der Methode nach Combes (17): man legt Schnitte 24 Stunden lang in eine gesättigte Baryumhydroxydlösung, spült mit Kalkwasser das überschüssige Barytwasser von dem entstandenen Saponinbarytniederschlag ab und fügt einige Tropfen einer 10%igen Kaliumbichromatlösung hinzu, wodurch das Saponinbaryt in Baryumchromat übergeführt wird, das dann in Form gelber Kristalle beobachtet werden kann. Die Methode versagt aber bei Gegenwart von Gerbstoffen, die einen ähnlich gefärbten Niederschlag geben. Eine ebenfalls nur beschränkte Brauchbarkeit hat die von Sagel (18) beschriebene Reaktion. Hier wirken öfter Phytosterine störend. Aehnliches gilt von dem Vamvakas'schen (mit Neßlers Reagens aufkochen, grauer Niederschlag) und von dem Sieburgschen Verfahren (Probe in 1%iger alkoholischer Furfurollösung mit konzentrierter Schwefelsäure unterschichten).

Luft (19) benutzte nun als erster die hämolytische Wirkung der Saponine für den mikroskopischen Nachweis in der Pflanze. Er legte saponinhaltige Pflanzenschnitte in eine 1%ige Aufschwemmung defibrinierten Blutes (Plazentar- oder Rattenblut), dem er zur Vermeidung von Hypotoniehämolyse 0,9% Kochsalz zugesetzt hatte, und beobachtete unter dem Mikroskop die Auflösung der roten Blutkörperchen. Die Einwirkung von Gerbstoff, der eine Agglutination der Erythrozyten hervorruft und dadurch den Ablauf der Hämolyse hemmt, beseitigte er durch Hinzugabe einer 1%igen Gelatinelösung zur Blutaufschwemmung. Allerdings macht der bei größeren Gerbstoffmengen reichlich entstehende Gerbstoff-Leimniederschlag ein deutliches Erkennen der Hämolyse vielfach unmöglich. Schließlich wurde von Kofler und König (20) gemeinsam ein neues Verfahren ausgearbeitet, das, was die Eindeutigkeit und Empfindlichkeit der Reaktion anbelangt, alle bisher benutzten Verfahren zum Saponinnachweis in den Schatten stellt. Hierzu bedienten sie sich einer auf besondere Weise hergestellten Blutgelatine. Da auch ich mit Hilfe der Koflerschen Blutgelatinemethode meine Untersuchungen bei den Zygophyllaceen ausführte, sei sie im folgenden kurz beschrieben. Doch bevor ich damit beginne, möchte ich noch einige Worte über die Hämolyse als solche nachtragen.

Wir verstehen unter Hämolyse die Abgabe des Hämoglobins an das umgebende Medium. Aeußerlich spielt sich der Vorgang folgendermaßen ab: fügt man zu defibriertem Blut oder zu einer Blut-

körperchensuspension eine saponinhaltige Lösung, so wird das Blut aus dem deckfarbenen Zustand in den lackfarbenen übergeführt, d. h. das vorher bei durchfallendem Licht undurchsichtige Blut wird jetzt durchsichtig. Der rote Blutfarbstoff, das Hämoglobin, hat sich nach Austritt aus dem Erythrozyten in der Flüssigkeit gelöst. Welche Rolle dabei das Saponin spielt und wie dessen Einwirkung auf das Blutkörperchen erfolgt, wissen wir noch nicht genau. Etliche Autoren nehmen beim Blutkörperchen eine Membran an, deren Permeabilität durch das Hämolytikum verändert wird und dadurch den Farbstoff in Freiheit setzt. Andere Autoren wiederum lehnen das Vorhandensein einer solchen Membran ab und erklären den Vorgang der Hämolyse dadurch, daß sich das Saponin mit dem Cholesterin des Blutkörperchens verbindet und damit einhergehend eine völlige Zerstörung des letzteren stattfindet.

Ich stellte mir zunächst eine 8%ige Gelatinelösung her. Zu diesem Zwecke löste ich beste Gelatine in einer $\frac{m}{30}$ Phosphatpufferlösung, der ich noch zur Vermeidung von Hypotoniehämolyse 0,7% Kochsalz zusetzte, unter Erwärmen auf, klärte die Lösung mittels Hühnereiweiß, filtrierte sie und sterilisierte sie im strömenden Wasserdampf. Als Pufferlösung verwendete ich eine entsprechende Mischung von primärem $\frac{m}{30}$ und $\frac{m}{30}$ sekundärem Natriumphosphat, so daß ich ungefähr eine Wasserstoffionenkonzentration von pH = 6,8 erhielt. Die genaue Einstellung auf den Wert pH = 7,0 erfolgte dann mit dem Hellige-Komparator und Universalindikator „Merck". Die Pufferung hat anderen Lösungen gegenüber den Vorteil, daß man die Hämolyseversuche bei einem stets gleichbleibenden p H-Wert vornehmen kann, ungeachtet der im Pflanzenschnitt vorhandenen sauer oder alkalisch reagierenden Stoffe. Sie ist besonders dann unerläßlich, wenn man mit Wasserstoffionenkonzentrationen arbeitet, die den Punkten der reinen Laugenhämolyse (p H = 11,0) oder der reinen Säurehämolyse (p H = 4,5) sehr nahe liegen. Ueberhaupt ist die Berücksichtigung der Wasserstoffionenkonzentration für den Saponinnachweis von großer Wichtigkeit. Kofler und Lazar (21) haben nämlich festgestellt, daß die Wasserstoffionenkonzentration eine starke Wirkung auf die Saponinhämolyse ausübt. Auf Grund dieser Tatsache konnten sie zwei Typen von Saponinen aufstellen.

Typus I zeigt schwächere Hämolysewirkung bei p H-7,4 und p H-8,4 und einen beiderseitigen Anstieg der Wirkung nach der sauren und alkalischen Seite. Bei Typus II macht sich eine sehr schwache Hämolysewirkung bei p H-10,0 und ein rascher Anstieg nach der sauren Seite hin bemerkbar. Diese Erfahrungen lehren, daß es durchaus nicht gleichgültig ist, bei welcher Wasserstoffionenkonzentration man den Saponinnachweis führt.

Doch ist es für den qualitativen Saponinnachweis vollkommen ausreichend, wenn man dasjenige p H wählt, mit dem man beide Saponintypen erfassen kann. Für meine Untersuchungen wählte ich daher das p H-7,0.

Für den Versuch wurden nun von dieser Gelatine ca. 10 ccm verflüssigt und bei einer 40° C nicht übersteigenden Temperatur mit 3—4 Tropfen frischem, nicht defibriniertem Kaninchenblut vermischt und wieder zum Erstarren gebracht. Dann wurden einige Schnitte von der zu untersuchenden Pflanze auf einem Objektträger bereit gelegt und mit Hilfe eines zweiten Objektträgers, auf dessen den Schnitten zugekehrten Seite ein ca. erbsengroßes Stück von der Blutgelatine ausgebreitet war, mittels leichtem Druck gleichmäßig in die Blutgelatine eingebettet. Waren die Schnitte saponinhaltig, so bildete sich manchmal schon nach 10 Minuten, vielfach aber erst nach ein bis zwei Stunden, an den Rändern der Schnitte eine sich konzentrisch ausbreitende ringförmige Zone, die im Gegensatz zur unangegriffenen Blutgelatine hell und durchsichtig ist. Dieser sogenannte hämolytische Hof wird hervorgerufen durch das aus den Zellen des Objektes in die Gelatine diffundierende Saponin, das alle von der Gelatine eingeschlossenen Blutkörperchen, die es berührt, zur Auflösung bringt.

Um nun die Gewißheit zu haben, daß eine reine Saponinhämolyse vorlag, benutzte ich die Entgiftung der Saponine durch Cholesterin.

Ich digerierte neue Schnitte desselben Untersuchungsmaterials mit einer gesättigten alkoholischen Cholesterinlösung und legte sie, nachdem ich sie vom überschüssigen Cholesterin durch wiederholtes Waschen mit Aether befreit und den Aether wiederum durch gelindes Erwärmen verjagt hatte, in einen neuen Anteil Blutgelatine. Die Hämolyse blieb bei derartig behandelten Objekten aus. Es hatte sich in den Zellen das Cholesterin mit dem Saponin zu dem hämolytisch unwirksamen Saponincholesterid verbunden. Diese komplexe Verbindung läßt sich jedoch wieder durch Kochen der Schnitte in Xylol sprengen, und man kann dann das wieder freigewordene Saponin von neuem auf die Blutkörperchen einwirken lassen. Die Entgiftbarkeit durch Cholesterin ist aber eine Eigenschaft, die uns nur von den Saponinen her bekannt ist. Man kann also durch die Cholesteringegenprobe die Saponine von anderen Hämolyse verursachenden Stoffen sehr gut unterscheiden. Diese Tatsache war bei meinen Untersuchungen auch insofern von großer Wichtigkeit, als mir nur Pflanzen des Berliner Herbariums zur Verfügung standen, die durch Sublimat konserviert waren. Ich hätte also durch Sublimathämolyse getäuscht werden können. An Vorversuchen, bei denen ich mit Sublimatlösung getränkte Filtrierpapierstreifen in die Blutgelatine einlegte, habe ich mich überzeugen können, daß sich die Sublimathämolyse, wenn die Konzentration an Sublimat 0,2% und mehr beträgt, von der Saponinhämolyse sehr gut unterscheiden läßt. Es tritt

unmittelbar um das Objekt herum in ziemlich breiter Schicht Agglutination der Blutkörperchen auf und daran anschließend tritt Hämolyse auf. Bei 0,1% Sublimat trat an den Filtrierpapierstreifen Hämolyse ohne vorherige Agglutination auf, während bei 0,01% Sublimat die Blutgelatine unbeeinflußt blieb. Um daher eine Sublimathämolyse möglichst zu vermeiden, spülte ich die Pflanzenteile vor der Untersuchung mehrmals mit destilliertem Wasser ab. Es war auffallend, daß sich in dem gesammelten Spülwasser niemals Sublimat mit $H_2S$ nachweisen ließ. Die Pflanzenteile wurden dann, um sie schnittfähig zu machen, einen Tag über in physiologischer Kochsalzlösung liegen gelassen, doch wurde von dieser zur Vermeidung von Saponinverlusten nur soviel hinzugefügt, als sie davon aufzunehmen vermochten. Die Beobachtungsdauer der Präparate wurde, wenn es erforderlich war, bis zu drei Tagen ausgedehnt. Es hat sich dabei als praktisch erwiesen, die Präparate während dieser Zeit in einer feuchten Kammer aufzubewahren. Aehnliche Versuche wie mit Sublimat stellte ich mit Gerbstoff, der ein häufiger Begleiter der Saponine ist, an. Wie bei dem Versuch von Luft schon erwähnt, wirken die Gerbstoffe hemmend auf den Ablauf der Saponinhämolyse, und zwar dadurch, daß der Gerbstoff die Erythrozyten zur Agglutination bringt. Dabei geht aber den Erythrozyten die Fähigkeit zu hämolysieren verloren und es kann bei Anwesenheit reichlicher Gerbstoffmengen der Fall eintreten, daß die Hämolyse vollkommen unterbunden wird. Legte ich nun einen Streifen Filtrierpapier, den ich zuvor mit einer 10%igen Tanninlösung getränkt hatte, in eine Aufschwemmung defibrinierten Kaninchenblutes, so trat augenblicklich eine starke Agglutination der roten Blutkörperchen ein, legte ich dagegen einen Streifen von derselben Tanninkonzentration in die Blutgelatine, so bildete sich wohl ein reichlicher Gerbstoffleimniederschlag, doch die Erythrozyten blieben vom Gerbstoff gänzlich unangegriffen und reaktionsfähig.

Weitere Vorzüge der Koflerschen Methode sind darin zu erblicken, daß man im Gegensatz zur Reagenzglashämolyse, die man vor der Uebertragung der Hämolyse ins Mikroskopische zum qualitativen und quantitativen Saponinnachweis herangezogen und die sich häufig als sehr ungenau herausgestellt hatte, mit ganz geringen Mengen Pflanzenmaterials auskommt, was bei Benutzung wertvoller Herbarpflanzen von Wichtigkeit werden kann. Daher eignet sie sich besonders gut für Reihenversuche, und die Einfachheit ihrer Anwendung erlaubt es, daß man in kurzer Zeit mehrere Pflanzen untersuchen kann.

# Systematischer Teil.

## Aufzählung der untersuchten Arten mit Angabe ihrer Reaktionen.

Bei der folgenden Aufzählung der untersuchten Arten verwendete ich die bereits von Engler in seiner Abhandlung „Ueber die geographische Verbreitung der Zygophyllaceen im Verhältnis zu ihrer systematischen Gliederung" gegebene Aufstellung der Gattungen und Sektionen. Die einzelnen Arten sind fortlaufend nummeriert und durch die Angabe ihrer Bezeichnung im Herbar genau fixiert. Es wurden öfter mehrere Individuen derselben Art, meistens jedoch zwei, in seltenen Fällen nur das eine vorhandene Exemplar untersucht. In der Rubrik „Saponinreaktion" deutet ein + Zeichen hinter einer Art an, daß bei ihr die Saponinprobe positiv, ein — Zeichen, daß hier die Probe negativ ausgefallen ist. Diejenigen Fälle, bei denen nach dieser Einteilung positive und negative Arten innerhalb ein und derselben Gattung bzw. Sektion auftreten, werden bei der Besprechung der Ergebnisse im nächsten Abschnitt eingehend erörtert werden.

### Gattung Fagonia Tourn.

| Nr. | Art | Bezeichnung im Herbar | Sapon. Pr. |
|---|---|---|---|
| 1. | Fag. virens Coss. | leg. E. Cosson 18. 5. 1858 | + |
| 2. | „ glutinosa Del. | „ Chevallier Nr. 281 | + |
| 3. | „ latifolia Del. | „ Dr. Kuegler 31. 3. 1901 | + |
| 4. | „ cretica L. | „ A. Engler Nr. 889 | + |
| 5. | „ Kahirina Boiss. | „ Schweinfurth 24. 4. 1875 | + |
| 6. | „ Bruguierii D. C. | „ „ Nr. 245 | + |
| 7. | „ nigriacantha Boiss. | „ Boissier 1866 | + |
| 8. | „ Olivieri D. C. | „ Hausknecht (Iter Syriaco Armeniacum) | + |
| 9. | „ mollis Del. | „ Schweinfurth Nr. 2214 | + |
| 10. | „ subinermis Boiss. | „ Bornmüller Nr. 210 | + |
| 11. | „ parviflora Boiss. | „ Schweinfurth Nr. 2213 | + |
| 12. | „ thebaica Boiss. | „ „ Nr. 2201 | + |
| 13. | „ acerosa Boiss. | „ Dr. Ellenbeck | + |
| 14. | „ grandiflora Boiss. | „ Dr. Kersten 3. 1872 | + |
| 15. | „ arabica L. | „ Ascherson Nr. 620 | + |
| 16. | „ minutistipula Engl. | „ Dinter Nr. 2119 | + |
| 17. | „ multistipula Engl. | „ A. Engler 6131 | + |
| 18. | „ cretica var. socotrana Balf. fil. | „ Baylay Nr. 202 | + |
| 19. | „ cretica L. var. latifrons Engl. | „ R. Schlechter Nr. 11 475 „ | + |
| 20. | „ californica Benth. | „ Coll. S. B. u. W. F. Parisch | + |
| 21. | „ chilensis Hook et Arn. | „ Werdermann Nr. 168 | + |
| 22. | „ scoparia Brandy. | „ C. A. Purpus Nr. 4495 | + |

## Gattung Seetzenia R. Br.

| Nr. | Art | Bezeichnung im Herbar | Sapon. Pr. |
|---|---|---|---|
| 23. | Seetzenia orientalis Decne. leg. | A. Kuegler 29. 4. 04 | + |

## Gattung Zygophyllum L., Sektion Fabago Tourn.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 24. | Zygoph. macropterum C. A. Mey. | Herb. W. v. Spruner 5. 5. 1914 | — |
| 25. | „ mucronatum Maxim. | G. N. Potanin 1886 | — |
| 26. | „ subtrijugum C. A. Mey. | Ajadys Sibirien | — |
| 27. | „ turcomanicum var. uni juga Fisch. | determ. J. Freyn. 1621 | — |
| 28. | „ pterocarpum Bunge | Herb. Bunge | — |
| 29. | „ Karelini Fisch et Mey. leg. | Lehmann Nr. 121 | — |
| 30. | „ miniatum Cham. et Schlecht. „ | N. Androssow 1857 | — |
| 31. | „ Melongena Bunge „ | Potanin 1879 | — |
| 32. | „ Fabago L. „ | Bornmüller 3413 | — |
| 33. | „ furcatum C. A. Mey. „ | Lessing (Nebelgebirge) | — |
| 34. | „ brachypterum Kar. et Kir. „ | N. Potanin 1886 | — |
| 35. | „ latifolium Schrenk „ | Schrenk | — |
| 36. | „ gobicum Maxim. „ | fehlt | 0 |
| 37. | „ ovigerum Fisch. et Mey. „ | Bunge Nr. 270 | — |
| 38. | „ Eichwaldii C. A. Mey „ | „ Nr. 271 | — |
| 39. | „ stenopterum Schrenk „ | Schrenk | — |

## Gattung Miltianthus Bunge.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 40. | Miltianthus portulacoides | Cham et Schlecht. Nr. 266 | — |

## Sektion Sacrozygium Bunge.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 41. | Zygoph. xanthoxylum Bunge leg. | N. Potanin 1885 | + |

## Sektion Halimiphyllum Engl.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 42. | Zygoph. atriplicoides Fisch. et Mey. | determ. J. Bornmüller VI. 1908 | + |

## Sektion Agrophyllum Neck.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 43. | Zygoph. simplex L. leg. | Ch. Ehrenberg 1822 | +!! |
| 44. | „ Pfeilii Engl. = Stapfii „ | Nr. 137 | — |
| 45. | „ cordifolium L. f. „ | Schlechter Nr. 8066 | — |
| 46. | „ paradoxum Schinz „ | Dinter Nr. 3717 | — |
| 47. | „ prismatocarpum E. Mey. „ | Pearson Nr. 5991 | — |
| 48. | „ coccineum L. „ | Ascherson Nr. 606 | — |
| 48a. | „ album L. „ | E. Minses Veris 1821 | — |
| 49. | „ album L. var. coccineum „ | A. Kneuter III. 1904 | — |
| 50. | „ cornutum Coss. „ | Chevallier Nr. 33 | — |
| 51. | „ Geslinii Coss. „ | „ Nr. 178 | — |
| 52. | „ Webbianum Coss. „ | fehlt | 0 |
| 53. | „ decumbens Del. „ | Brühl Nr. 29 | — |

| Nr. | Art | Bezeichnung im Herbar | Sapon. Pr. |
|---|---|---|---|
| 54. | Zygoph. cinereum Schinz. | leg. Hermann Nr. 4 | — |
| 55. | „ dumosum Boiss. | „ Kneuter 1904 | — |
| 56. | „ Morgsana L. | „ Diels Nr. 243 | — |
| 57. | „ Stapfii Schinz. | „ Ilse Fischer Nr. 137 | — |
| 58. | „ latialatum Engl. | „ Engler Nr. 6568 | — |
| 59. | „ microcarpum Lichtenst. | „ „ Nr. 6622 | — |
| | **Sektion Melocarpum Engl.** | | |
| 60. | Zygoph. Robecchii Engl. | leg. Hildebrandt Nr. 1378 | — |
| 61. | „ Hildebrandtii Engl. | „ Engler VIII. 91 | — |
| | **Sektion Capensia Engl.** | | |
| 62. | Zygoph. pygmaeum E. u. Z. | leg. Engler Nr. 246 | + |
| 63. | „ spinosum L. | „ Diels Nr. 242 | + |
| 64. | „ sessilifolium L. | „ „ Nr. 750 | + |
| 65. | „ fulvum L. | „ „ Nr. 1019 | + |
| 66. | „ cuneifolium E. Z. | „ „ Nr. 703 | + |
| 67. | „ flexuosum E. Z. | „ Schlechter Nr. 811 | + |
| 68. | „ maculatum Ait. | „ fehlt | 0 |
| 69. | „ uitenhagense Sond. | „ Miss. M. Waly Nr. 1039 | + |
| 70. | „ debile Cham. et Schlecht. | „ Mumet et Maire 1819 | + |
| 71. | „ microphyllum L. f. | „ Diels Nr. 521 | + |
| 72. | „ dichotomum Licht. | „ fehlt | 0 |
| 73. | „ glaucum E. Mey | „ fehlt | 0 |
| 74. | „ incrustatum E. Mey. | „ Gilpileau Nr. 5511 | + |
| 75. | „ Lichtensteinianum Cham. et Schlecht. | „ Bolus Nr. 11 729 | + |
| 76. | „ leptopetalum E. Mey. | „ Diels Nr. 435 | + |
| 77. | „ Meyeri Sond. | „ Schlechter Nr. 8232 | + |
| 78. | „ foetidum Schrad. | „ Diels Nr. 384 | + |
| 79. | „ retrofractum Thunbg. | „ Engler Nr. 6787 | + |
| 80. | „ Dregeanum Sond. | „ v. Trotha Nr. 144 | + |
| | **Sektion Roeperia A. Juß.** | | |
| 81. | Zygoph. fruticulosum DC. | leg. Diels Nr. 3202 | + |
| 82. | „ apiculatum F. v. M. | „ „ Nr. 1709 | + |
| 83. | „ glaucescens F. v. M. | „ Koch Nr. 165 | + |
| 84. | „ Billardieri DC. | „ Tilden Nr. 627 | + |
| 85. | „ ammophilum F. v. M. | „ Koch Nr. 164 | + |
| 86. | „ iodocarpum F. v. M. | „ Diels Nr. 3640 | + |
| 87. | „ Billardieri var. stenophyll. DC. | „ „ Nr. 5459 | + |
| 88. | „ fructiculosum DC. var. eremaea Diels | „ „ Nr. 3202 | + |
| 89. | „ crenatum F. v. M. | „ Koch Nr. 470 | + |
| | **Gattung Augea Thunb.** | | |
| 90. | Augea capensis Thunb. | leg. Mund et Maire Juli 1820 | + |

## Gattung Guajacum L.

| Nr. | Art | Bezeichnung im Herbar | Sapon. Pr. |
|---|---|---|---|
| 91. | Guajac. officinale L. | leg. Perkins Nr. 834 | + |
| 92. | „ sanctum L. | „ Ehrenberg Nr. 400 | + |
| 93. | „ angustifolium Planch | „ Seler Nr. 1614 | + |
| 94. | „ Coulteri A. Gray | „ Liebmann Nr. 12 | + |

## Gattung Porlieria Ruiz. et Pav.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 95. | Porl. angustifolia A. Gray. | leg. Endlich Nr. 470 | + |
| 96. | „ hygrometrica Ruiz et Pav. | „ Werdermann Nr. 220 | + |
| 97. | „ Lorentzii Engl. | „ Th. Herzog | + |

## Gattung Pintoa Gay.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 98. | Pintoa chilensis Gay | leg. Werdermann Nr. 148 | + |

## Gattung Bulnesia Gay.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 99. | Buln. arborea Engl. (Jacq.) | leg. Nageler Nr. 120 | + |
| 100. | „ chilensis Gay | „ Gay Nr. 429 | + |
| 101. | „ bonariensis Griseb. | determ. Halier Nr. 1093 | + |
| 102. | „ Schickendantzii Hieron. | leg. Schickendantz Nr. 261 | + |
| 103. | „ Sarmienti Lorentz | „ Lorentz Nr. 576 | + |
| 104. | „ Retama Griseb. | „ Weberbauer Nr. 7193 | + |
| 105. | „ foliosa Griseb. | „ Herzog determ. Halier | + |

## Gattung Plectrocarpa Gillies.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 106. | Plectrocarpa tetracantha Gill. | leg. Hieronymus Nr. 497 | + |

## Gattung Larrea Gay.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 107. | Larrea mexicana Morie | leg. Pringle Nr. 9445 | —! |
| 108. | „ divaricata Cav. | „ Schickendantz Nr. 282 | —! |
| 109. | „ cuneifolia Cav. | „ Hosseus Nr. 2003 | + |
| 110. | „ nitida Cav. | „ Hosseus Nr. 414 | + |

## Gattung Metharme Phil.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 111. | Metharme lanata Phil. | ex Herb. F. Phillippi | + |

## Gattung Tribulus Tourn.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 112. | Trib. terrestris L. | leg. Krause Nr. 967 | + |
| 113. | „ terrestris L. var. parviflorus Engl. | „ Schlechter | + |
| 114. | „ terrestris L. var. cistoides L. | „ Letourneux Nr. 323 | + |
| 115. | „ bimucronatus Vir. | „ R. Fielrig Nr. 3412 | + |
| 116. | „ orientalis Kerner | „ Dr. Borbach 1886 | + |
| 117. | „ lanuginosus L. | „ Werdermann Nr. 750 | + |
| 118. | „ terrestris L. var. cistoid. L. subvar. medius Engl. | „ Nr. 3412 | + |
| 119. | „ terrestris L. var. cistoides L. subvar. Zeyheri Sond. | „ Marloth Nr. 1133 | + |

| Nr. | Art | Bezeichnung im Herbar | Sapon. Pr. |
|---|---|---|---|
| 120. | Trib. terrestris L. var. cistoides L. subvar. oblongipetalus Engl. | leg. Nr. 44 | + |
| 121. | „ alatus Del. | „ Ascherson Nr. 616 | + |
| 122. | „ pterophorus Presl. | „ Engler Nr. 6578 | + |
| 123. | „ macropterus Boiss. | „ Diels Nr. 3628 | + |
| 124. | „ pterocarpus Ehrenbg. | „ Schweinfurth Nr. 649 | + |
| 125. | „ Pechuelii O. Ktze. | „ Marloth Nr. 1457b | —! |
| | **Gattung Kallstroemia Scop.** | | |
| 126. | Kallstr. tribuloides Wight et Arn. | Nr. 1009 | + |
| 127. | „ maxima Torr. et Gray | Nr. 243 | + |
| 128. | „ pentandra Benth. | leg. Schultz Nr. 787 | + |
| 129. | „ bicolor F. v. Mueller | fehlt | |
| 130. | „ Solandri F. v. M. | fehlt | |
| 131. | „ minutus Leichhardt | fehlt | |
| | **Gattung Sisyndite.** | | |
| 132. | Sisyndite spartea E. Mey. | leg. Schlechter | — |
| | **Gattung Neoluederitzia Schinz.** | | |
| 133. | Neoluederitzia sericeo-carpa Schinz | leg. Dinter Nr. 1202 | — |
| | **Gattung Viscaiona Greene.** | | |
| 134. | Viscainoa geniculata Greene | leg. Brandegee 1893 | — |
| | **Gattung Chitonia Moç. et Sesse.** | | |
| 135. | Chitonia mexicana Moç. et Sesse | leg. Ehrenberg Nr. 707 | — |
| | **Gattung Sericodes A. Gray.** | | |
| 136. | Sericodes Greggii A. Gray | leg. Endlich Nr. 909 | — |
| | **Gattung Peganum L., Sektion Eupeganum Engl.** | | |
| 137. | Peganum harmala L. | | — |
| 138. | „ Nigellastrum Bunge | leg. David Nr. 260 | — |
| 139. | „ mexicanum A. Gray | „ Endlich Nr. 884 | — |
| | **Sektion Malaecarpus Fink et Mey.** | | |
| 140. | Peganum crithmifolium Eichwald | leg. T. Sintenis Nr. 941 | — |
| | **Gattung Tetradiclis Stev.** | | |
| 141. | Tetradiclis salsa Stev. | leg. Ehrenbg.-Alexandria | — |
| | **Gattung Nitraria L.** | | |
| 142. | Nitraria Schoberi L. | Nr. 780 | — |
| 143. | „ sphaerocarpa Maxim | Potanin 1886 | — |
| 144. | „ retusa Ascherson | leg. Bornmüller Nr. 287 | — |
| | **Gattung Balanites Delile.** | | |
| 145. | Balanites aegyptica Delile | Nr. 627 | + |
| 146. | „ aegyptica L. var. Roxburghii Planch. | | + |

## Die systematische Gliederung der Zygophyllaceen-Gattungen unter Berücksichtigung ihrer chemischen Befunde.

Die Zygophyllaceen sind nach der letzten Bearbeitung von A. Engler (22) eine Familie von 24 Gattungen, die alle mehr oder weniger xerophytische oder auch haloxerophytische Arten enthalten.

Wegen ihres xerophilen Charakters sind die Zygophyllaceen ausschließlich Bewohner von Wüsten und Steppen sowohl der östlichen als auch der westlichen Hemisphäre. Diese Verhältnisse bringen es mit sich, daß sich die Zygophyllaceen durch eine hochgradige Diskontinuität ihres Areals auszeichnen. Sogar bei den Gattungen der Familie treffen wir auf ausgesprochen disjunkte Areale. Die morphologischen und geographischen Beziehungen zwischen den in allen wärmeren Teilen der Erde zerstreutliegenden Gattungen festzustellen, bildete den Hauptgegenstand der oben zitierten Englerschen Bearbeitung. Dabei machte Engler bei den Zygophyllaceen noch einige wichtige phylogenetisch-systematische Verbesserungen an der Gliederung, wie wir sie im 3. Band 4. Abtlg. in den Natürlichen Pflanzenfamilien vorfinden. Diese Einteilung, die schon im vorigen Abschnitt bei der Uebersicht über die untersuchten Arten hervortritt, liegt auch meiner Bearbeitung zugrunde, und wir werden im folgenden sehen, ob das Vorkommen und Fehlen von Saponin mit ihr übereinstimmt oder ob eventuelle Unterschiede sich auf morphologischer Basis zwanglos erklären lassen und somit Umstellungen innerhalb der Gattungen und Sektionen der Familie rechtfertigen lassen.

### Zygophylloideae-Zygophylleae.

Die Gruppe der Zygophylleae umfaßt Kräuter oder niedrige Sträucher mit gegenständigen, ungeteilten, gedreiten oder gefiederten Blättern. Die Frucht ist eine fach- oder scheidewandspaltig sich öffnende Kapsel, seltener zerfällt sie in einsamige Teilfrüchte, sogen. Kokken. Die Samen zeichnen sich besonders dadurch aus, daß sie ein mehrschichtiges sehr dickwandiges Nährgewebe besitzen, das jedoch bei der Gattung Seetzenia R. Br. sehr dünn ist. Die hierher gehörenden Fagoniinae mit den beiden Gattungen Fagonina Tournf. und Seetzenia R. Br. zeichnen sich vor den übrigen Zygophylleen durch die gedreiten Blätter aus, die infolge von Verkümmerung der Seitenblätter auf das Mittelblättchen reduziert sein können, und so die sogenannten Folia unifoliolata darstellen. Die Frucht zerfällt bei der Reife in fünf einsamige Kokken, die sich an der Bauchnaht öffnen und bei Fagonia den Samen dadurch herausstoßen, daß das Endokarp vom Exocarp durch Zusammenrollen getrennt wird.

## Gattung Fagonia Tournf.

Die Gattung enthält etwa 18 Arten, die einander sehr nahe stehen. Wir finden daher auch nur geringe morphologische Unterschiede zwischen den einzelnen Arten, so daß der von Boissier (23) vorgenommenen Einteilung der Arten wenig Wert beigemessen werden kann. Ebenso wenig konnte ich anatomische Unterschiede bei den Samenepidermen — wir werden noch die Bedeutung der Samenepidermis für die Arten der Gattung Zygophyllum kennen lernen — der einzelnen Arten feststellen. Diese engen Beziehungen der Arten untereinander wurden auch durch die chemischen Ergebnisse bestätigt. Alle untersuchten Arten waren saponinhaltig. Die Mehrzahl der Arten ist in den Steppen und Wüsten des Mittelmeergebietes und in Südwestafrika beheimatet, nur drei Arten kommen in Amerika vor (Fag. californica Benth. im südlichen Kalifornien und Nordamerika, Fag. chilensis Hook. et Arn. und Fag. aspera Gay, beide im Norden von Chile). Doch auch diese drei Arten unterscheiden sich von den altweltlichen im Habitus nur wenig, in anatomischer und chemischer Hinsicht überhaupt nicht. Daher gewinnt die Ansicht von Engler, daß diese drei Arten, die er nur als Varietäten der mediterranen Fag. cretica L. ansieht, mit denen der alten Welt in naher Beziehung gestanden haben und einst mit Schiffsladungen dorthin verschleppt worden sind, immer mehr an Wahrscheinlichkeit.

## Gattung Seetzenia R. Br.

Die Gattung Seetzenia R. Br. ist nur durch eine Art: Seetzenia orientalis (Decne) vertreten. Es ist dies ein in den Wüstengebieten Nord- und Südafrikas, sowie in Arabien und im nordwestlichen Indien vorherrschendes am Grunde holziges Kraut mit niederliegenden Aesten und gegenständigen gedreiten Blättern. Es hat sehr kleine gestielte endständige Blüten ohne Blumenblätter. Im Gegensatz zur vorigen Gattung besitzt Seetzenia Samen mit sehr dünnem Nährgewebe. Bei dieser monotypischen Gattung ist Saponin vorhanden.

## Gattung Zygophyllum L.

Die Gattung Zygophyllum L., von der bekanntlich die ganze Familie ihren Namen erhalten hat, umfaßt etwa 60 Arten, die von Engler zu sieben teils scharf, teils schwächer umgrenzten Sektionen zusammengefaßt werden. Schon mit Rücksicht auf die Früchte können wir bei der Gattung Zygophyllum zwei große Gruppen unterscheiden, und zwar solche mit fachspaltig und solche mit scheidewandspaltig aufspringenden Kapselfrüchten. Doch liegt, wie bereits bei der Gattung Fagonia angedeutet, der größte Wert für die Gruppierung der Zygophyllum-Arten in der Beschaffenheit der inneren Membran der Samenepidermis. Die hierfür notwendigen Samenuntersuchungen hat Engler nur insoweit, als es für seine pflanzengeographischen

Fragen von Wichtigkeit war, vorgenommen und in seiner Abhandlung erwähnt. Ich habe diese Untersuchungen ergänzt und auf alle Arten, von denen mir reife Samen zur Verfügung standen, ausgedehnt. Auch bei den übrigen Zygophyllaceen-Gattungen habe ich mich über die Beschaffenheit der Samenschale genau unterrichtet. Ich werde daher auch diese Untersuchungen eingehend besprechen.

### Sektion Fabago Tournf.

Durch fachspaltige Kapseln, deren Scheidewände sich nicht völlig voneinander trennen, unterscheidet sich die Sektion Fabago Tourn. leicht von den übrigen Sektionen. Die hierher gehörigen Arten sind alle Bewohner der Steppen und Wüsten von West- und Zentralasien. Sie besitzen ein fleischiges, ausdauerndes Rhizom, dickfleischige Blätter, die einpaarig gefiedert, zuweilen 3—4paarig sind. Der Samenquerschnitt läßt folgende anatomische Einzelheiten erkennen. Wie bei der Gattung Fagonia liegt auch hier der Embryo in einem zwei- bis dreischichtigen Nährgewebe von horniger Konsistenz. Die Wände dieses Endosperms, die an Dicke das Lumen der Zellen übertreffen, sind überall von langen Tüpfelkanälen durchzogen. Hierauf folgt die innere aus einer Zellreihe bestehende Schicht der Samenschale. Jede dieser kleinen rechteckigen, braunwandigen Zellen führt einen rhombischen Kristall, der aus Calciumoxalat besteht. Hieran schließt sich die äußere stark quellbare Schicht der Samenschale an. Während jedoch bei Fagonia diese Quellschicht, die für die Samenverbreitung und -keimung von großer Wichtigkeit ist, aus farblosen, klaren, fast rechteckigen Zellen sich aufbaut und häufig, namentlich bei noch unreifen Samen reichlich mit Stärkekörnern versehen ist, finden wir dagegen bei Fabago diese bei der Reife verschleimenden Zellen mehr cylindrisch ausgebildet. Sodann erkennt man im Innern dieser Zellen eigentümliche netzförmig verbundene Fädchen, häufig auch zwei voneinander getrennte Spiralen, die ihrerseits durch solche fadenförmigen Gebilde verbunden sind. Die Entstehung dieser Fasern, von denen wir bei der Sektion Capensia und Roeperia noch andere Formen kennen lernen werden, beruht auf einer eigenartigen Spaltung der Innenlamelle der Samenepidermiszellen. Die Sektion Fabago, die durch die Ausbildung der Früchte und Samen eine einheitliche Gruppe innerhalb der Zygophyllum-Arten darstellt, zeigt auch in ihrem chemischen Verhalten größte Uebereinstimmung unter ihren Gliedern. Die von mir untersuchten Arten erwiesen sich durchweg als negativ.

### Gattung Miltianthus Bunge.

Im Anschluß an die Sektion Fabago erwähnt Engler die Gattung Miltianthus Bunge mit der einzigen Art Miltianthus portulacoides Cham. et Schlecht. Es ist dies eine mehrjährige, fleischige Staude mit zwei- bis dreipaarigen Blättern, häutigen Nebenblättern und

rötlich goldgelben Blüten. Sie kommt in der Wüste zwischen Buchara und Komnine bei Agatme vor. Diese Art, die ihrem Aussehen nach und wegen ihrer loculiciden Kapselfrüchte den Arten der Sektion Fabago sehr nahe steht, sich von diesen nur durch das fleischige Perikarp und das Fehlen der Blumenblätter unterscheidet, soll nach Engler sich aus einer Art der Sektion Fabago entwickelt haben. Die Richtigkeit dieser Annahme stützt der chemische Befund, denn die Saponinprobe fiel bei Miltianthus negativ aus.

### Sektion Sarcozygium Bunge.

Diese Sektion ist nur durch die eine Art Zygophyllum xanthoxylum (Bunge) Engler vertreten. Es ist ein kahler Strauch mit holzigen dornigen Zweigen, einpaarigen Blättern und fleischigen linealen Blättchen. Die Früchte sind breitgeflügelt, springen bei der Reife nicht auf und enthalten nur einen reifen Samen, obwohl im Fruchtknoten mehrere Samenanlagen vorhanden waren. Die Samenschale zeigt eine ähnliche Beschaffenheit wie die Zygophyllen der Sektion Fabago. Trotzdem kann sie in keine nähere Beziehung zu dieser gebracht werden. Schon das Verhalten der reifen Kapseln, die sich bei der Reife als Ganzes von der Pflanze trennen und zu Boden fallen, ist verschieden von dem der vorigen Sektion. Außerdem enthält die Pflanze Saponin, so daß auch auf diesem Wege ein Anschluß an die Sektion Fabago unmöglich ist. Diese innerhalb der Gattung Zygophyllum ziemlich isoliert stehende Sektion kommt auf Salzböden der Wüste Gobi vor innerhalb des Verbreitungsgebietes der Sektion Fabago.

### Sektion Halimiphyllum Engl.

Gleichfalls monotypisch ist die Sektion Halimiphyllum Engl. mit Zygophyllum atriplicoides Fisch et. Mey., ein Strauch mit langen weißlichen Zweigen, verkehrt eiförmigen, grauen Blättern und breitgeflügelten fachspaltigen Kapseln. Zygophyllum atriplicoides ist in den Pflanzenfamilien noch unter der Sektion Fabago aufgeführt. Engler hat dann die Art zu einer selbständigen Sektion erhoben, hauptsächlich mit Rücksicht auf den eigentümlichen Habitus, den sie besitzt, und wegen der auffallend breitgeflügelten Früchte. Da sie auch im chemischen Verhalten von der Sektion Fabago abweicht — sie reagiert positiv — so ist ihre jetzige Stellung berechtigt, wenn sich auch im Bau der Samenschale zwischen ihr und der Sektion Fabago keine Unterschiede finden lassen.

### Sektion Agrophyllum Neek.

Eine weitere Zygophyllen-Gruppe, die im Gegensatz zu den fachspaltigen Früchten der Sektion Fabago Tourn. scheidewandspaltige Früchte hat, ist die Sektion Agrophyllum Neck.. Es sind Pflanzen

von kraut- oder strauchartigem Charakter mit einfachen oder einpaarigen Blättern und teils geflügelten, teils flügellosen Fruchtfächern. Ihr Verbreitungsgebiet erstreckt sich von Afrika über Arabien bis Vorderindien. Die bei dieser artenreichen Sektion ausgeführten Saponinproben fielen mit einer Ausnahme alle negativ aus. Positiv reagierte das hierher gestellte Zygophyllum simplex L. (24). Bei der anatomischen Untersuchung des Samens von Z. simplex L. und der Samen anderer Agrophyllum-Arten, von denen leider wegen Mangels an reifen Samen nur einige zur Untersuchung herangezogen werden konnten, konnte ich an der Beschaffenheit der Samenepidermis deutliche Unterschiede erkennen. Während sich in den Zellen der Quellschicht von Zygophyllum latialatum Engl., Z. microcarpium Lichtenst., Z. coceineum L., Z. album L., Z. orbienlatum Welw. und Z. decumbens Del. aufsteigende Fasern, die hin und wieder netzförmig verbunden waren, beobachten ließen, zeigte sich bei Z. simplex keine derartige Umwandlung der inneren Membran in Netz- oder Spiralfasern. Es erscheint daher berechtigt, Zygophyllum simplex von der Sektion Agrophyllum abzutrennen und zu einer monotypischen Sektion zu erheben, die ich Simplum nennen möchte.

### Sektion Melocarpum Engl.

Es folgen nun zwei Arten, Zygophyllum Robechii Engl. und Zygoph. Hildebrandtii Engl., die zu der von Engler neu aufgestellten Sektion Melocarpum gehören. Beide Arten sind holzige Sträucher mit einfachen, flachen und lederartigen, rundlichen, bisweilen verkehrt eiförmigen, graugrünen Blättern. Die stumpf gelappten, an Melonen erinnernden Früchte öffnen sich nicht, wie Engler annahm, septicid, sondern loculicid. Die verhältnismäßig kleinen Samen, einer in jedem Fach, zeigen den typischen Zygophyllen-Samenaufbau. Die verschleimenden Zellen, die eine fast rechteckige Form besitzen, weisen ein System von Netzfasern auf, das dem der Sektion Fabago sehr ähnlich ist. Die Probe auf Saponin fiel negativ aus bei beiden Arten. Die fachspaltigen Früchte, die Beschaffenheit der Samenschale und schließlich ihr chemisches Verhalten lassen auf nahe Beziehungen zur Sektion Fabago schließen. Eigenartig allerdings ist bei beiden Arten dieser Sektion das Fehlen der sonst für die Zygophyllum-Arten so typischen Ligularschuppen am Grunde der Staubblätter.

### Sektion Capensia Engl.

Durch fachspaltige Kapseln, deren Fächer nicht oder nur schwach geflügelt sind, ist die Sektion Capensia Engl. ausgezeichnet. Es sind etwa 20 Arten, die im Karroogebiet des Kaplandes südlich vom Oranjefluß verbreitet sind. Ihre Blüten sind verhältnismäßig groß, die Staubblätter tragen am Grunde Ligularschuppen und die Früchte enthalten in jedem Fach einen ziemlich dicken, eiförmigen Samen.

Das Querschnittsbild der Samen läßt hier in der äußeren Zellschicht der Samenepidermis eine Spaltung der Innenlamelle in ein bis zwei getrennte Spiralgebilde deutlich erkennen. Daß wir hier eine sehr natürliche Sektion vor uns haben, läßt sich auch daraus ersehen, daß alle Arten saponinhaltig sind.

### Sektion Roeperia A. Juß.

Die letzte noch übrig bleibende Sektion Roeperia umfaßt sieben ausschließlich in Australien vorkommende Arten. Engler wollte diese sieben Arten auf zwei Sektionen der Gattung Zygophyllum verteilen, weil sie in der Beschaffenheit ihrer Früchte größere Unterschiede aufweisen. So faßt er sechs Arten, die alle ungeflügelte, fachspaltige Kapseln haben, zu einer Gruppe zusammen. Im Gegensatz hierzu steht nach seiner Ansicht das Zygophyllum fruticulosum D. C., ein sparrig verzweigter Strauch mit vierfächerigen Früchten, die auffallend breitgeflügelt sind und bei der Reife nicht aufspringen. Betrachtet man jedoch die Samenquerschnitte dieser Art und vergleicht sie mit den sechs anderen unter dem Mikroskop, so erkennt man sofort, daß diese Trennung bei der Sektion nicht angängig ist. Denn die Oberfläche der Samenschalen aller sieben Arten ist mit zahlreichen Spiralfasern versehen, die mit denen der Sektion Capensia große Aehnlichkeit haben, sich aber von letzteren dadurch unterscheiden, daß sie nach der Verschleimung der primären Membranen erhalten bleiben und sich später zu langen Bändern aufrollen, die häufig das Zweifache des Samendurchmessers erreichen. Auch aus dem Grunde, daß wir bei allen sieben Spezies Saponin nachweisen können, muß Zygophyllum fruticulosum unbedingt zur Sektion Roeperia gezählt werden.

Auf Grund des Vorkommens oder Fehlens von Saponin werden die sieben Sektionen der Gattung Zygophyllum in drei negative (Sektion Fabago, Melocarpum und Agrophyllum) und in vier positive Sektionen (Sektion Sarcozygium, Halimiphyllum, Capensia und Roeperia) geschieden. In der Ausgestaltung der Samenschale stimmen die drei negativen und die beiden positiven Sektionen Sarcozygium und Halimiphyllum am meisten überein, indem diese fünf Sektionen eine netzfaserige Struktur der Innenlamelle aufweisen, die jedoch bei der Sektion Agrophyllum durch die aufsteigenden Fäden ein etwas anderes Aussehen hat. Die spiralige Beschaffenheit der inneren Membran der Samenepidermiszellen der beiden Sektionen Capensia und Roeperia lassen zwischen diesen nahe Beziehungen deutlich erkennen. Einen Sonderfall innerhalb der Gattungen Zygophyllum sowohl in morphologisch-anatomischer, als auch in chemischer Hinsicht stellt Zygophyllum simplex dar. Daß im übrigen die Sektionen der Gattung Zygophyllum sehr natürlich umgrenzt sind, wird uns überall durch die chemischen Ergebnisse bestätigt.

## Gattung Augea Thunb.

Die Gattung Augea mit der einzigen Art Augea capensis Thunb., in der Karroo einheimisch, unterscheidet sich hauptsächlich von den übrigen Zygophyllinen durch den aus zehn Karpellen gebildeten Fruchtknoten und die zugleich fach- und scheidewandspaltig sich öffnenden Früchte. Die Samen von Augea zeigen im Querschnitt den Zygophyllum-Typus. Was die Epidermiszellen der Samenschale anbelangt, so bleiben nach ihrer Verschleimung ziemlich dicke Spiralfasern zurück, die sich ähnlich denen der Sektion Roeperia der Länge nach abwickeln. Die Pflanze enthält Saponin. Auch diese Tatsache spricht dafür, daß der natürliche Anschluß von Augea bei der Sektion Roeperia zu suchen ist.

## Gattung Guajacum L.

Die im wärmeren Nordamerika bis zum äquatorialen Südamerika vorkommenden fünf Arten der Gattung Guajacum zeichnen sich durch einen starken Gehalt an Saponin aus. Was die Gattung in morphologischer Hinsicht von der folgenden Gattung Porlieria Ruiz et Pav. abhebt, ist, daß die Staubblätter von Guajacum keine Ligula tragen. Die Samen beider Gattungen haben jedoch den gleichen Aufbau. Auch hier findet sich wie bei Zygophyllum ein stark getüpfeltes Endosperm und eine einreihige kristallführende Zellschicht. Doch anstelle der verschleimenden Epidermiszellen mit ihren jeweiligen charakteristischen Strukturen treffen wir bei Guajacum und Porliera ein bis mehrere Zellschichten an, deren Zellen im trockenen Zustande sehr zusammengedrückt sind, im feuchten dagegen stark gequollen. Was den Nachweis des Saponins bei den Arten von Guajacum betrifft, möchte ich noch bemerken, daß ich entgegen der von G. Luft (25) erwähnten Tatsache, wonach das Blättersaponin von Guajacum hämolytisch sehr wirksam sei, das in der Rinde und im Holz vorkommende Saponin kaum auf die roten Blutkörperchen einwirke, mit der Blutgelatine-Methode in beiden Fällen starke Hämolysen erhielt.

## Gattung Porlieria Ruiz et Pav.

Diese Gattung ist mit der vorigen sehr nahe verwandt. Die anatomischen Merkmale der Samen habe ich schon geschildert, ebenso erwähnt, daß die Staubblätter Ligularschuppen tragen, die jedoch bei P. angustifolia Gray nur auf sehr kurze Anhängsel reduziert sind, so daß nach Englers Ansicht diese Art als Uebergangsglied zwischen Porlieria und Guajacum angesehen werden kann. Die chemischen Ergebnisse stützen die Meinungen über die verwandtschaftlichen Beziehungen beider Gattungen außerordentlich. Die Porlieria-Arten zeigten starke Saponinhämolysen. Die drei bis jetzt bekannten Arten von Porlieria sind durch große Zwischenräume voneinander getrennt. So kommt P. angustifolia Gray in Mexiko und Texas, P. hygrometrica

Ruiz et Pav. in Süd-Peru und Nord-Chile und P. Lorentzii Engl. in den Steppen Argentiniens von den Anden bis Cordoba vor.

### Gattung Pintoa Gay.

Wir finden ferner in Südamerika in der Provinz Atacama (Nordchile) die monotypische Gattung Pintoa Gay. Pintoa chilensis Gay ist ein ästiger Strauch mit gegenständigen, fünf bis sechs paarigen Blättern, mit 2 cm großen gelben Blüten und Staubblättern mit zerschlitzten Anhängseln. Die Frucht ist eine dünnwandige, längliche, scheidewandspaltige Kapsel, deren einzelne Fächer bei der Reife mehrere kantige Samen entläßt. Sehr auffallend und daher von den übrigen Zygophyllinen Amerikas stark abweichend, ist die Beschaffenheit der Samenschale dieser Art. Während ich an den Samen der beiden vorigen Gattungen außerhalb der kristallführenden Zellreihe ein bis mehrere Schichten zusammengeschrumpfter Zellen beobachten konnte, fand ich bei Pintoa nur eine Schicht von aufquellenden, ziemlich langgestreckten Zellen, deren innere Membran genau wie bei den altweltlichen Zygophyllen in ein netzfaseriges Gebilde gespalten ist. Wir haben daher den Anschluß dieser unter den amerikanischen Zygophyllinen vollkommen isoliert stehenden Gattung bei der Gattung Zygophyllum zu suchen. Die Pflanze enthält Saponin, deswegen ist ein direkter Anschluß an die Sektion Fabago, mit der sie, was die Beschaffenheit der Früchte und er Samenschale anlangt, große Aehnlichkeit hat, nicht möglich.

### Gattung Bulnesia Gay.

Genau die gleichen anatomischen Verhältnisse der Samenschale von Pintoa findet man bei der Gattung Bulnesia wieder. Von den bisher bekannten sieben Arten wachsen sechs im Buschwald und in den Steppen Argentiniens, meist gesellig. Eine Art, Bulnesia arborea, kommt als hoher Baum in den Savannen Columbiens und Venezuelas vor. Ihre Früchte sind breitgeflügelt und zerfallen bei der Reife in fünf einsamige Teilfrüchte, die sich an der Bauchnaht öffnen. Sowohl die sechs argentinischen als auch das von ihnen durch große Waldgebiete getrennte Bulnesia arborea (Jasq.) Engl. enthalten Saponin. Es sind also die Arten dieser Gattung untereinander sehr nahestehend. Wie die Gattung Pintoa, so nimmt auch Bulnesia eine isolierte Stellung unter den amerikanischen Zygophyllinen-Gattungen ein und ist offenbar nächstverwandt mit der Gattung Zygophyllum.

### Gattung Larrea.

Von den vier Arten der Gattung Larrea Cav. fällt schon auf den ersten Blick deren große habituelle Verschiedenheiten auf. So besitzt Larrea mexicana Moric., das vom Coloradogebiet Californiens bis zum westlichen Texas und in Mexiko vorkommt, einpaarige Blätter und halbmondförmige Blättchen, die am Grunde nur wenig verbunden

sind. Dieser Art sehr ähnlich, aber mit schief lanzettlichen, am Grunde mehr zusammenhängenden Blättchen, ist Larrea divaricata Cav., das in Argentinien bei Cordoba auf den Sandsteppen gesellig wächst. Von diesen beiden Arten ist die ebenfalls in Argentinien, in Salzwüsten von Cordoba bis zum Rio Colorado verbreitete Larrea cuneifolia Cav. verschieden, die nur einfache, längliche, am oberen Ende zweizähnige Blätter hat. Ebendort finden wir die vierte Art, Larrea nitida Cav., die längliche, fiederschnittige, fünf- bis siebenpaarige Blätter hat. Nach dem Saponinvorkommen können wir die vier Arten in zwei Gruppen trennen. Zur ersten Gruppe gehören Larrea mexicana Moric. und Larrea divaricata Cav. bei denen ich kein Saponin nachweisen konnte. Die zweite Gruppe enthält die beiden Arten: Larrea cuneifolia Cav. und Larrea nitida Cav., bei denen ich deutliche Saponinhämolysen erhielt. Irgendwelche Unterschiede im Aufbau der Samenschale waren bei den vier Arten nicht vorhanden. Ihre Samenschalen besitzen die gleichen von den Gattungen Guajacum und Porliera bereits bekannten anatomischen Merkmale. Es bestehen nun zwischen Larrea mexicana und Larrea divaricata ohne Zweifel nahe verwandtschaftliche Beziehungen. Zu dieser Annahme sind wir auf Grund der oben schon erwähnten morphologischen Tatsachen, denen wir die chemischen Befunde an die Seite stellen können, berechtigt. Ich möchte daher die beiden Arten zu einer Sektion vereinigen und sie Sektion Divaricatum nennen. Von den Arten dieser Sektion sind sowohl habituell als auch durch den Gehalt an Saponin die beiden Arten Larrea cuneifolia und Larrea nitida grundsätzlich verschieden. Es ist daher berechtigt, wenn wir diese beiden Arten ebenfalls zu einer Sektion zusammenfassen und der ersteren als Sektion Nitidum gegenüberstellen. Doch dürfen wir nicht außer acht lassen, daß die Arten dieser Sektion nicht so enge Beziehungen zueinander erkennen lassen wie die der ersten Sektion. Larrea cuneifolia und Larrea nitida weichen in der Blattform ziemlich voneinander ab. Auch die Früchte sind bei der ersteren Art mehr eiförmig und mehr wollig behaart, die der letzteren dagegen von kugelförmiger Gestalt und weniger behaart. Engler (22) vertritt die Ansicht, daß die Entstehung der Larrea-Arten zeitlich sehr weit zurückliegt und daß einst noch andere, bereits untergegangene Arten bestanden haben, die die jetzigen Formen sowohl morphologisch als auch räumlich besser verbunden haben. Von diesem Gesichtspunkt aus erfahren auch die chemischen Ergebnisse eine bessere Erklärung, als es die gegenwärtigen morphologischen Verhältnisse der Larrea-Arten zu tun vermögen. Jedenfalls tut sich hier wieder einmal in überzeugender Weise kund, in welch hohem Maße sich die Ergebnisse systematischer und phytochemischer Forschung zu decken pflegen.

Es bleiben nun noch zwei Gattungen der amerikanischen Zygophyllinen übrig, und zwar Plectrocarpa Gillies und Metharme Phil., die beide monotypisch sind.

### Gattung Plectrocarpa Gillies.

Plectrocarpa tetracantha Gill. ist ein ästiger mit Stipulardornen versehener Strauch, der in Argentinien im Salinengebiet von Catamarca bis Mendoza vorkommt. Die Früchte sind wollig behaart und zerfallen bei der Reife in fünf Teilfrüchte. Diese sind in der Mitte am Rücken mit einem abstehenden Dorn versehen, springen nicht auf und enthalten nur einen Samen, der wie die Samen der Gattung Larrea aufgebaut ist. Plectrocarpa tetracantha enthält Saponin.

### Gattung Metharme Phil.

Metharme lanata (Phil.), in Nordchile in der Provinz Tarapaca heimisch, ist überall an den Zweigen seidig behaart. Die lang behaarten Früchte zerfallen wie bei der vorigen Gattung ebenfalls in fünf einsamige, nicht aufspringende Teilfrüchte, die hier ohne Dorn sind. Die Samenschale stimmt mit der von Plectrocarpa und Larrea überein. Auch in chemischer Hinsicht weicht Metharme wegen seines Gehaltes an Saponin von Plectrocarpa keineswegs ab. Nach alledem müssen zwischen der Gattung Metharme und Plectrocarpa enge verwandtschaftliche Beziehungen angenommen werden. Nach Englers Auffassung sollen ja diese beiden Gattungen frühzeitige Abzweigungen des Larrea-Typus sein.

Abgesehen von den beiden Gattungen Pintoa und Bulnesia, die wegen der netzfaserigen Struktur der inneren Membran ihrer Samenepidermiszellen eine Sonderstellung einnehmen, ist es unverkennbar, daß der Formenkreis der neuweltlichen Zygophyllinen ein recht natürlicher ist. Das beweisen uns vornehmlich die übereinstimmende Beschaffenheit der Samenschale und das konstante Auftreten von Saponin bei den hierher gehörenden Gattungen.

### Zygophylloideae-Tribuleae.

Die Tribuleae besitzen durchweg Samen ohne Nährgewebe. Es sind Kräuter, seltener Sträucher, mit gefiederten, bisweilen wechselständigen Blättern. Die Früchte zerfallen bei der Reife in wenigsamige Teilfrüchte, die bei einigen Gattungen quergeteilte Fächer haben.

### Gattung Tribulus Tournf.

Die Arten der Gattung Tribulus Tournf. sind xerophile Kräuter der wärmeren Gebiete der östlichen Hemisphäre, mit häufig niederliegenden Zweigen, unterwärts gegenständigen, paarig gefiederten Blättern. Die fünfkantigen Früchte zerfallen in fünf Teilfrüchte, die im Gegensatz zur Gattung Kallstroemia Scop. kein zentrales Säulchen zurücklassen. Die Teilfrüchte sind quergefächert und enthalten in jedem Fache einen Samen mit dünner Samenschale.

Schon in den natürlichen Pflanzenfamilien wird darauf hingewiesen, daß die einzelnen Arten schwer gegeneinander abzugrenzen

sind. Sie werden dort hauptsächlich nach der Größe der Blüten und nach der Beschaffenheit der Früchte unterschieden. Daher kommt es, daß von manchen Autoren öfter unhaltbare Arten aufgestellt wurden, die nach genauerer Prüfung nur als Varietäten oder Subvarietäten z. B. des sehr veränderlichen Tribulus terrestris L. angesehen werden können. Es bestehen also zwischen den einzelnen Arten der Gattung enge verwandtschaftliche Beziehungen, und das stimmt mit den chemischen Befunden gut überein. So erwiesen sich die durchgeprüften Spezies des Herbars als saponinhaltig mit Ausnahme von Tribulus Pechuelii O. Ktze.; Tribulus Pechuelii O. Ktze., bei dem ich kein Saponin nachweisen konnte, weicht allein schon durch seine aufrechten und auch verholzenden Stengel von den übrigen Tribulus-Arten stark ab. Sodann besitzt Tribulus Pechuelii grubig punktierte Teilfrüchte, während sonst bei den Arten unserer Gattung die Teilfrüchte am Rücken entweder mit pfriemenförmigen Stacheln oder mit deutlich gezähnten Flügeln versehen sind. Die morphologischen und chemischen Eigentümlichkeiten von T. Pechuelii lassen es also gerechtfertigt erscheinen, diese Art von den anderen Tribulus-Arten abzutrennen und zu einer monotypischen Sektion zu erheben, die ich Sektion Inermis nennen möchte. Ebenfalls lassen sich die übrigen Tribulus-Arten wegen der Beschaffenheit ihrer Teilfrüchte in zwei gut umschriebene Sektionen gliedern, so daß die Gattung Tribulus im ganzen in folgende drei Sektionen unterteilt werden kann.

Die erste Sektion besitzt Teilfrüchte mit zwei bis drei größeren Dornen und kleineren Hökern. Zu ihr gehören: T. terrestris L., T. terrestris L. var. parviflorus, T. terrestris L. var. cistoides L. und von var. cistoides L. die Subvariationen: subvar. medius Engl., subvar. Zeyheri (Sond.) Schinz und subvar. oblongipetalus Engl. Außerdem noch T. bimucronatus Viv., T. orientalis Kerner und T. lanuginosus L. Diese Arten möchte ich zur Sektion Terrestris zusammenfassen.

Bei den Arten der zweiten Sektion, die ich als Sektion Pterocarpa bezeichnen möchte, sind die Teilfrüchte jederseits mit zwei Flügeln versehen. Hierher gehören: T. alatus Del., T. pterophorus (Presl.) T. macropterus Boiss. und T. pterocarpus Ehrenbg.

Die dritte Sektion hat Teilfrüchte ohne Dornen und Flügel. Zu ihr gehört allein Tribulus Pechuelii O. Ktze.

Von den drei Sektionen stimmen die beiden ersten in chemischer Hinsicht völlig überein; beide Sektionen sind positiv. Die Arten dieser beiden Sektionen sind zweifellos sehr nahe verwandt. In einem natürlichen Gegensatz hierzu steht die dritte Sektion mit T. Pechuelii, sowohl in morphologischer Hinsicht als auch durch ihre chemische Reaktion. Doch darum steht sie keineswegs zusammenhangslos innerhalb der Tribulinen, wie wir bei der Besprechung der folgenden Gattung Kelleronia Schinz (26) noch sehen werden.

### Gattung Kelleronia Schinz.

Die hierher allein gehörende Kelleronia splendens Schinz ist ein über ein Meter hoher Strauch mit aufrechten Zweigen und drei- bis vierpaarigen, meist abwechselnd stehenden Blättern. Die Frucht besteht aus fünf Teilfrüchten, die wie bei Tribulus mit zwei bis vier einsamigen Querfächern versehen sind. Hinsichtlich des Wachstums ist die nahe Verwandtschaft mit T. Pechuelii nicht zu verkennen. Auch die großen hellgelben Blüten von Kelleronia ähneln sehr denen von T. Pechuelii. Berücksichtigt man ferner, daß Kelleronia splendens kein Saponin enthält, so ist die Verwandtschaft mit T. Pechuelii, die wir bezüglich des Wachstums feststellen konnten, geradezu in die Augen springend. Kelleronia splendens Schinz wächst im Somaliland auf dem Plateau hinter Abdallah am Gananefluß.

### Gattung Neoluederitzia Schinz (27).

Neoluederitzia sericeocarpa Schinz ist ein ca. 2 m hoher Strauch in Groß-Namaland am Fischfluß, mit drei- bis vierpaarigen Fiederblättern, die häufig noch ein unpaariges Endblättchen tragen. Durch ihre einfächerigen, einsamigen, bei der Reife an der Bauchnaht aufspringenden Fruchtblätter weicht diese Gattung von den bisher erwähnten Tribuleen-Gattungen ab. Bei dieser Art konnte ich kein Saponin nachweisen.

### Gattung Sisyndite E. Mey.

Wichtig bei dieser monotypischen Gattung ist, daß hier wie bei Neoluederitzia die Frucht aus fünf einsamigen Teilfrüchten, die sich bei der Reife an der Bauchnaht öffnen, besteht. Wegen dieser übereinstimmenden Merkmale hat Engler die beiden Gattungen zu dem Subtribus der Neoluederitziinae zusammengefaßt. Die Gattung Sisyndite enthält kein Saponin. Auch dieser Umstand, der bei beiden Gattungen der gleiche ist, stützt die auf die morphologischen Tatsachen hin gegründete Verwandtschaft außerordentlich. Die einzige Art, Sisyndite spartea E. Mey. ist ein besenginsterartiger, kahler Strauch in Groß-Namaland, mit graugrünen Zweigen und eigenartig entwickelten Blättern, an denen Paare ganz kleiner Blättchen in großen Abständen stehen. Die großen hellgelben Blüten erinnern stark an die von Kelleronia splendens Schinz.

### Gattung Kallstroemia Scop.

Die letzte noch übrigbleibende Tribuleengattung Kallstroemia Scop. ist von allen bisher angeführten Gattungen dieses Formenkreises am allernächsten mit der Gattung Tribulus verwandt und daher wiederholt von etlichen Autoren mit dieser vereinigt worden. Doch unterscheidet sich die Gattung Kallstroemia, wie wir gesehen haben, von der Gattung Tribulus dadurch, daß bei ihr die Teilfrüchte nach

dem Abfallen ein Mittelsäulchen mit dem Griffel, der erhalten bleibt, zurücklassen. Im übrigen gleichen sich die Arten der beiden Gattungen im Habitus manchmal so sehr, daß man, wenn man sie nicht gerade im Fruchtzustande sieht, häufig nicht entscheiden kann, ob sie zur Gattung Tribulus oder zur Gattung Kallstroemia gehören. Dieser Umstand hat dann auch vielfach zu Verwechslungen Veranlassung gegeben. Von den mit Sicherheit als Kallstroemia-Arten angesehenen sechs Zygophyllaceen waren nur drei Arten im Berliner Herbar vorhanden, und zwar die beiden in Südamerika weit verbreiteten Arten K. tribuloides Wight et Arn. und K. maxima Torr. et Gray, und die in Australien vorkommende Kallstroemia pentandra (R. Br.) Engl. Trotz dieser eigentümlichen Verbreitungserscheinung zeigen die südamerikanischen und australischen Arten nur geringfügige morphologische Verschiedenheiten. So besitzen erstere meist ein 10-karpalliges Gynaeceum, während bei den letzteren der Fruchtknoten nur aus fünf Fruchtblättern gebildet ist. In chemischer Hinsicht erwiesen sich die drei vorhandenen Arten als saponinhaltig, so daß man auch durch diesen Befund auf die engen verwandtschaftlichen Beziehungen bei den Arten dieser Gattung hingewiesen wird. Die Gattung Kallstroemia selbst rückt zweifellos ganz in die Nähe von Tribulus. Denn bei beiden Gattungen können wir auf Grund ihres morphologischen und chemischen Verhaltens gemeinsame verwandtschaftliche Züge deutlich erkennen.

Es gelangen nun noch einige zum Teil monotypische Gattungen der von den Zygophylloideae mehr oder weniger abweichenden Unterfamilien zur Besprechung.

### Chitonioideae.

Zu dieser Unterfamilie der Zygophyllaceen gehören die drei Gattungen Chitonia Moç. et Sesse, Viscainoa Greene und Sericodes A. Gray.

### Gattung Chitonia Moç. et Sesse.

Der einzige Vertreter dieser Gattung ist Chitonia mexicana Moç. et Sesse, die in Mexiko am Montezumafluß vorkommt. Chitonia mexicana ist ein dicht grau behaarter Strauch mit abwechselnden oder gegenständigen, unpaariggefiederten oder gedreiten Blättern. Die Frucht ist eine große lederartige Kapsel mit geflügelten Fächern, die sich scheidewandspaltig öffnen. Die Samen besitzen ein horniges Nährgewebe und eine lederartige Samenschale. Insofern erinnert Chitonia an die Zygophylloideae-Zygophylleae. Die Probe auf Saponin verlief bei dieser Art negativ.

### Gattung Viscainoa Greene.

Sie ist mit der einzigen Art Viscainoa geniculata Greene in Niederkalifornien vertreten. Es ist dies ein Strauch, der dem

vorigen sehr ähnlich ist, mit kurzgestielten, eiförmigen oder länglichen Blättern und kleinen Nebenblättern. Die Kapselfrucht ist wie bei der vorigen beschaffen, doch mit Placenten, die sich voneinander lösen. Auch bei dieser Art konnte ich kein Saponin nachweisen.

### Gattung Sericodes Gray.

Ebenfalls monotypisch ist die Gattung Sericodes Gray. Sericodes Greggii A. Gray hat an den vor den Kelchblättern stehenden Staubblättern tief zweispaltige Anhängsel. Die Frucht ist eine scheidewandspaltige Kapsel mit zusammengedrückten, einsamigen Teilfrüchten. Auch diese Pflanze erwies sich als saponinfrei. Ihre Heimat ist das nördliche Mexiko.

Alle drei Gattungen sind, wie wir sehen, völlig saponinfrei.

## Peganioideae.

### Gattung Peganum L.

Die vier Arten der Gattung Peganum stellen mehrjährige, kahle oder behaarte Kräuter dar, mit wechselständigen, unregelmäßig vielspaltigen Blättern. Nach der Beschaffenheit der Früchte wird die Gattung von Engler in zwei Sektionen eingeteilt. Die erste Sektion, Eupeganum Engl., enthält Arten, die eine drei- bis vierfächerige, klappig aufspringende Kapsel haben. Hierher gehören Peganum harmala L., Peganum Nigellastrum Bunge und Peganum mexicanum A. Gray. Die zweite Sektion, Malaeocarpum Fisch. et Mey., enthält nur P. crithmifolium Eichwald, das zweifächerige Beerenfrüchte besitzt. Trotz der disjunkten Verbreitung stehen sich die drei Arten der ersten Sektion sehr nahe. So kommt Peganum harmala L. in den Steppen Spaniens und durch Südrußland bis nach der Songarei und Tibet, sowie in Nordafrika vor und ist nächstverwandt mit dem in der östlichen und südlichen Mongolei verbreiteten Peganum Nigellastrum Bunge, das nur kleiner im Wuchs ist und zerschlitzte Kelchblätter besitzt. Peganum mexicanum A. Gray, im nördlichen Mexiko, unterscheidet sich nur durch kleinere Blüten und Kapseln von der chinesischen Art, steht also dieser Art sehr nahe. Chemisch gestaltet sich diese Sektion ebenfalls sehr einheitlich, denn alle drei Arten sind saponinfrei. Somit gewinnen wir auch von dieser Seite den Eindruck, daß die Arten untereinander sehr nahe stehen müssen.

Peganum crithmifolium Eichwald von der Sektion Malacocarpum treffen wir am östlichen Gestade des Kaspischen Meeres an. Abgesehen von der Beerenfrucht hat diese Art wegen ihrer feinzerschlitzten Blätter große Aehnlichkeit mit Peganum harmala L. var. multisectum Maxim., das in der Ostmongolei und Westchina gefunden wurde.

Saponin wurde bei Peganum crithmifolium Eichwald nicht gefunden. Engler nimmt von dieser Art an, daß sie unter dem Einfluß eines sehr salzreichen Bodens erst in jüngerer Zeit entstanden sei.

### Tetradiclidoideae.
### Gattung Tetradiclis Stev.

Tetradiclis salsa (Stev.) ist ein einjähriges, succulentes, häufig am Grunde fast quirlig verzweigtes Kraut. Es findet sich auf feuchtem Bittersalzboden der Wüsten und Steppen Aegyptens, Vorderasiens und Zentralasiens. Bei dieser Art konnte ich kein Saponin nachweisen.

### Nitrarioideae.
### Gattung Nitraria L.

Die Arten dieser Gattung sind Sträucher mit oft verdornenden Zweigen, mit fleischigen, schmal oder breit spatelförmigen, ganzrandigen oder kerbig gezähnten Blättern und bleibenden oder abfallenden Nebenblättern und gelblichgrünen Blüten, die in Schraubeln angeordnet sind. Die bis jetzt bekannten und von mir untersuchten drei Arten: N. Schoberi L., N. sphaerocarpa Maxim. und N. retusa And. enthalten kein Saponin. Somit bestätigen diese Resultate die an Hand morphologischer Merkmale angenommenen engen Beziehungen dieser Arten untereinander. Die Nitraria-Arten sind vornehmlich Bewohner salzhaltiger Wüstenböden in Afrika, Asien und Australien.

### Balanitoideae.
### Gattung Balanites Delile.

Die letzte Zygophyllaceen-Gattung enthält eine baumförmige Art, Balanites aegyptiaca Delile, die von Afrika bis Ostindien und Burma verbreitet ist. Eine in Ostindien vorkommende Balanites, die durch behaarte Blumenblätter ausgezeichnet ist und deswegen von Planchon als Balanites Roxburghii aufgestellt wurde, ist nach Englers Ansicht nur eine Varietät von Balanites aegyptiaca (Delile). Ein chemischer Unterschied ließ sich zwischen beiden Pflanzen nicht feststellen. Bei beiden konnte ich sehr starke Saponinhaemolyse beobachten.

# Zusammenfassung.

Die von Engler vorgenommene Gliederung der Zygophyllaceengattungen wird größtenteils und im wesentlichen durch die Resultate meiner chemischen Untersuchungen gestützt. Wir begegnen namentlich bei der Gattung Zygophyllum wiederholt morphologisch recht scharf umgrenzten Sektionen und können konstatieren, daß sie sich chemisch ebenso einheitlich gestalten. Insofern finden wir dort besonders gute Beispiele für den Satz von der chemischen Verwandtschaft der Pflanzen. —

Innerhalb der Zygophyllum-Sektion Agrophyllum habe ich auf Grund meiner chemischen Resultate zwischen Zygophyllum simplex L. und den übrigen Arten eine Trennung vorgenommen, für deren Notwendigkeit auch die anatomischen Verhältnisse der Samenschale von Zygophyllum simplex L. mitbestimmend waren.

Dagegen konnte ich bei der Zygophyllum-Sektion Roeperia den Nachweis erbringen, daß hier eine Verteilung der Arten auf zwei Sektionen der Gattung Zygophyllum unzweckmäßig ist.

Um den morphologischen und chemischen Verhältnissen der Arten der Gattung Larrea gerecht werden zu können, habe ich sie in zwei Sektionen geschieden.

Bei der Gattung Tribulus war eine Aufteilung in drei Sektionen erforderlich, damit die morphologischen und chemischen Beziehungen zwischen den Arten deutlicher hervortraten.

Bei den Gattungen der übrigen Zygophyllaceen treffen wir außer bei der Gattung Balanites kein Saponin an.

# Literaturverzeichnis.


1. Zopf, W.: Die Flechtenstoffe. Jena 1907, G. Fischer, S. 428—433.
2. Heinemann: Die Beziehungen des Emodins zur Systematik der Gattung Cassia. Dissert. 1924.
   Jaretzky, R.: Beiträge zur Systematik der Polygonaceen unter Berücksichtigung des Oxymethylanthrachinon-Vorkommens. Feddes Repertorium, 22 (1925/26).
   Münkner, H.: Das Vorkommen und Fehlen des Emodins bei den Arten der Gattung Aloe im Hinblick auf ihre Systematik. Dissertation 1928.
3. Kofler, L.: Die Saponine. Wien 1927 p. 8 ff.
4. Schneider, G.: Ueber die Berücksichtigung des Saponins für die Pflanzensystematik innerhalb der Ranunculaceentribus der Anemoneae. Dissertation 1931.
5. Kofler, L.: Pharmazeut. Monatshefte 3, 117 (1922).
6. Schmiedeberg, O.: Digitalis purpurea, Archiv f. exp. Pathologie und Pharmacol., 3, 18 (1875).
7. Mutschler: in Liebigs Annalen 185, 214 (1877).
8. Kofler, L.: Archiv der Pharmazie u. Berichte d. Dsch. Pharmaz. Gesellschaft, 1924, Heft 4.
9. Molisch: Mikrochemie der Pflanze (1921).
   Kobert: Saponinsubstanzen, in Real-Enzyklopädie der ges. Heilkunde, 4. Aufl.
10. Holste, A.: Archiv f. exper. Pathologie und Pharmacologie 68, 323 (1912).
    Sieburg, E.: Archiv der Pharmazie 251, 154 (1913).
    Rosenthaler, L.: Berichte d. Dsch. Pharmazeutischen Gesellschaft, 22, 267 (1912).
11. Jakobson, C. A.: Journ. Amer. Chem. Soc. 41, 640 (1919).
12. Sieburg, R.: in Handbuch d. biolog. Arbeitsmethoden, herausgegeb. von Abderhalden, Abt. I, Teil 10, 545, 1921.
13. Flückiger, F. A.: Archiv der Pharmazie 210, 532 (1877).
14. Kobert, R.: Real-Enzyklopädie der ges. Heilkunde, 4. Auflage.
15. Rosoll, A.: Sitzungsberichte d. Kais. Akademie d. Wissenschaften. Wien 1884, Bd. 89, I. Abt. 143.
16. Hanausek, T. F.: Chem. Zeitung, 16, Nr. 71 und 72 (1892).
17. Combes, R.: Compt. rend. d. l'academie des Sciences 145, 1431 (1907).
18. Sagel: Verschärfter Saponinnachweis, Pharmazeutische Zentralhalle 1914, 268.
19. Luft, G.: Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften, Wien, Math.-naturwiss. Kl. Abt. I, 135, 259 (1926).
20. Kofler, L.: Die Saponine. Wien 1927, p. 86.
21. Kofler, L. und Lazar, Z.: Archiv der Pharmazie und Berichte der Deutschen Pharmazeutischen Gesellschaft. 265, 610 (1927).
22. Engler, A.: Ueber die geographische Verbreitung der Zygophyllaceen im Verhältnis zu ihrer systematischen Gliederung. Berlin 1896. Verlag d. Kgl. Akademie d. Wissenschaften.
23. Boissier: Flor. or. I, 903.
24. Linn: Mant. plant. II 68, 1767.
25. Luft, G.: Die Verteilung der Saponine und Gerbstoffe in der Pflanze. Wien 1926, p. 281.
26. Büll. Herb. Boiss. III, 400 A. IX.
27. Bull. Herb. Boiss. II, 191, A. II.

# Lebenslauf

Ich, Christian, Hans-Joachim Zumbruch, wurde am 4. Juli 1902 als Sohn des Pfarrers Paul Zumbruch zu Rheinsberg/Mark, Kreis Neuruppin, geboren. Zu meiner Ausbildung besuchte ich das Friedrich-Wilhelm-Gymnasium in Königsberg/Neumark, das ich mit dem Zeugnis der Primareife verließ. Ich schlug die Laufbahn als Apotheker ein und trat Weihnachten 1920 als Praktikant in die Adler-Apotheke zu Bärwalde, Neumark, ein. Nach einer dreijährigen Ausbildung mit anschließendem Vorexamen in Frankfurt a. d. O. absolvierte ich das Assistentenjahr in der Hildebrandtschen Schloß-Apotheke, Hohenlimburg, Westfalen. Hierauf bezog ich Ostern 1925 die Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin und legte nach einem viersemestrigen Studium dortselbst Ostern 1927 das Staatsexamen als Apotheker ab. Dann holte ich Ostern 1928 auf dem von mir früher besuchten Gymnasium die Reifeprüfung nach. Seitdem beschäftigte ich mich unter Leitung von Herrn Professor Dr. E. Gilg mit botanisch-systematischen Studien im Botanischen Museum zu Berlin-Dahlem.

Meine akademischen Lehrer, denen ich meine wissenschaftliche Ausbildung verdanke, waren die Herren Professoren und Privatdozenten: Anselmino, Brieger, Czaja, Diels, Dieterle, Gilg, Kniep, Maier, Rosenmund, Sabalitschka, Schürhoff, Thoms und Westphal.